



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 831 673 A2

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
25.03.1998 Patentblatt 1998/13

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: H04R 25/00

(21) Anmeldenummer: 97114603.0

(22) Anmeldetag: 22.08.1997

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC  
NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV RO SI

(72) Erfinder:  
• Müller, Gerd, Dr. Dipl.-Phys.  
85716 Unterschleißheim (DE)  
• Leysleffer, Hans, Dr. Dipl.-Ing.  
82024 Taufkirchen (DE)

(30) Priorität: 18.09.1996 DE 19638158

(74) Vertreter:  
Schwan, Gerhard, Dipl.-Ing.  
Elfenstrasse 32  
81739 München (DE)

(71) Anmelder:  
IMPLEX GmbH Spezialhörgeräte  
D-85737 Ismaning (DE)

(54) **Implantierbares Mikrofon**

(57) Implantierbares Mikrofon für implantierbare Hörhilfen, wie Cochlea Implantate oder Hörgeräte, mit mechanischer Stimulation des Mittel- oder Innenohres mit einer Mikrofonkapsel, die in einem hermetisch dichten Gehäuse untergebracht ist, und mit einer elektrischen Durchführungsanordnung zum Anschluß einer Implantatleitung an das Mikrofonmodul. Das Gehäuse weist zwei Schenkel auf, deren Achsen in einem Winkel mit Bezug aufeinander ausgerichtet sind, wobei der eine Schenkel die Mikrofonkapsel aufnimmt und mit einer Schalleintrittsmembran versehen ist und der andere Schenkel gegenüber der Ebene der Schalleintrittsmembran zurückversetzt ist und die elektrische Durchführungsanordnung in einem Bereich aufnimmt, der außerhalb einer zur Schalleintrittsmembran senkrechten Projektion der Mikrofonkapsel liegt. Das Mikrofon kann so implantiert werden, daß der die Schalleintrittsmembran aufweisende Schenkel in einer Bohrung in der hinteren Gehörgangswand liegt und durch Berührung der Membran mit der Haut der Gehörgangswand die akustische Aufnahme eines einfallenden Schallsignals erreicht wird, während der die elektrische Durchführungsanordnung enthaltende Schenkel des Mikrofongehäuses im Bereich der Mastoide Spitze liegt.

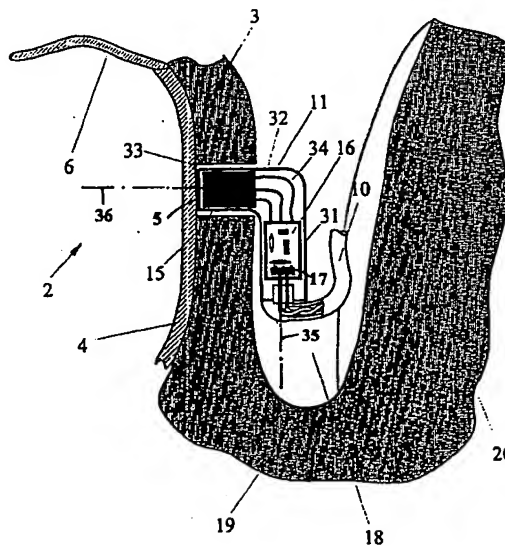


Fig. 2

## Beschreibung

Die Rehabilitation sensorischer Hörstörungen mit teilimplantierbaren, elektronischen Systemen hat in den letzten zehn Jahren einen bedeutenden Stellenwert erhalten. Insbesondere gilt dies für den Patientenkreis, bei dem das Gehör durch Unfall, Krankheit oder sonstige Einflüsse vollständig ausgefallen oder bereits von Geburt an nicht funktionsfähig ist. Ist in diesen Fällen nur das Innenohr (Cochlea) und nicht die nach zentral führende neuronale Hörbahn betroffen, kann mit elektrischen Reizsignalen der verbliebene Hörnerv stimuliert und somit ein Höreindruck erzeugt werden, der bis zu einem offenen Sprachverständnis führen kann. Bei diesen sogenannten Cochlea Implantaten wird ein Reizelektroden-Array in die Cochlea eingeführt, das von einem elektronischen System angesteuert wird, wobei dieses hermetisch dicht und biokompatibel eingekapselte Elektronikmodul operativ im knöchernen Bereich hinter dem Ohr (Mastoid) eingebettet ist. Das elektronische System enthält jedoch im wesentlichen nur Dekodier- und Treiberschaltungen für die Reizelektroden; die akustische Schallaufnahme, die Wandlung dieses Schallsignals in elektrische Signale und deren weitere Verarbeitung erfolgt grundsätzlich extern in einem sogenannten Sprachprozessor, der außen am Körper getragen wird. Der Sprachprozessor setzt die vorverarbeiteten Signale entsprechend kodiert auf ein hochfrequentes Trägersignal um, das über eine induktive Kopplung durch die geschlossene Haut (transkutan) zu dem Implantat übertragen wird. Das schallaufnehmende Mikrofon befindet sich ausnahmslos außerhalb des Körpers und in den meisten Anwendungen in einem an der Ohrmuschel getragenen Gehäuse eines Hinter-dem-Ohr-Hörgerätes (HdO) und ist mit einem Kabel mit dem Sprachprozessor verbunden. Solche Cochlea Implantate und deren Komponenten sind beispielhaft in folgenden Patentschriften beschrieben: EP-A-0 572 382 (Daly), WO-A-92/22107 (Kuzma), AU 624989 (Seligman und Dowell), US-A-4 532 930 (Crosby et al.) und EP-A-0 076 070 (Hochmair).

Neben der Rehabilitation gehörloser bzw. ertaubter Patienten mit Cochlea Implantaten existieren seit geraumer Zeit Ansätze, Patienten mit einer sensorischen Hörstörung, die operativ nicht behebbar ist, mit teil- bzw. vollimplantierbaren Hörgeräten eine bessere Rehabilitation als mit konventionellen Hörgeräten zu bieten. Das Prinzip besteht in den überwiegenden Ausführungsformen darin, ein Ossikel des Mittelohres oder das Innenohr direkt über einen mechanischen bzw. hydromechanischen Reiz zu stimulieren und nicht über das verstärkte akustische Signal eines konventionellen Hörgerätes, bei dem das verstärkte Schallsignal dem äußeren Gehörgang zugeführt wird. Der akustische Stimulus dieser elektromechanischen Systeme wird mit verschiedenen physikalischen Wandlerprinzipien realisiert wie z.B. durch elektromagnetische und

piezoelektrische Systeme. Der Vorteil dieser Verfahren wird hauptsächlich in der gegenüber konventionellen Hörgeräten verbesserten Klangqualität und bei vollimplantierten Systemen in der Unsichtbarkeit der Hörprothese gesehen. Solche teil- und vollimplantierbaren elektromechanischen Hörgeräte sind beispielhaft von Yanigahara und Suzuki et al. (Arch Otolaryngol Head Neck, Surg-Vol 113, 1987, pp. 869-872; Hoke, M. (ed), Advances in Audiology, Vol. 4, Karger Basel, 1988) und in zahlreichen Patentveröffentlichungen beschrieben: EP-A-0 499 940 (Leysieffer et al.), US-A-5 411 467 und EP-A-0 400 630 (Hortmann und Leysieffer), US-A-3 764 748 (Branch et al.), US-A-4 352 960 (Dormer et al.), US-A-5 015 225 (Hough et al.), US-A-5 015 224 (Maniglia), US-A-3 557 775 (Mahoney), US-A-3 712 962 (Eply), US-A-4 988 333 (Engebretson et al.), EP-A-0 263 254 (Schaefer), WO-A-92/09181 (Perkins) und WO-A-93/06666 (Buchele).

Sowohl bei Cochlea Implantaten wie auch den elektromechanischen Hörgeräten erscheint es heute als sehr sinnvoll, die Systeme so auszulegen, daß sie vollständig implantiert werden können. Neben der Notwendigkeit einen hohen mikroelektronischen Integrationsdichte der Signalverarbeitung und einer implantierbaren Energieversorgung spielen hierbei die Schallaufnahme und die Wandlung des akustischen Signals in ein elektrisches Signal eine ganz wesentliche Rolle. Es ist anzustreben, diesen Wandlungsvorgang so auszulegen, daß tatsächlich ein vollständig implantierbares System realisiert wird. Dies bedeutet, daß die akustische Signalaufnahme transkutan, das heißt, durch die geschlossene Haut erfolgen sollte. Dabei ist weiterhin zu berücksichtigen, daß die Wahl des Ortes dieser Schallwandlung audiologisch optimiert sein sollte, um eine weitgehende natürliche Störschallunterdrückung zu erhalten. Unter diesem wichtigen Aspekt bieten sich als sinnvoller Plazierungsort des schallwandelnden Elementes das Trommelfell selbst, der tiefliegende Bereich des äußeren Gehörgangs und auch die Ossikelkette im Mittelohrbereich in der Paukenhöhle an. Einige Patentschriften und Literaturstellen beschreiben die Realisierung solcher vollständig implantierbarer akusto-elektrischer Wandler Systeme; zur Beschreibung des Standes der Technik wird im folgenden auf diese Publikationen eingegangen.

Schaefer (US-A-4 729 366, US-A-4 850 962 und EP-A-0 263 254) beschreibt ein implantierbares Hörgerät, bei dem nach Entfernen des Amboß der Ossikelkette ein zweifaches Wandler System eingesetzt wird, wobei ein Element als mechano-elektrischer Wandler (Sensor: Mikrofon-Funktion) und das andere Element als elektromechanischer Wandler zur vibratorischen Stimulation des Steigbügels (Aktor-Funktion) dienen. Das Sensorelement ist mit dem verbleibenden Hammer über ein Koppellement, das als mechanisch steifer Draht ausgeführt ist, verbunden und nimmt so die mechanischen Schwingungen des Trommelfells auf, die aus einer auf das Trommelfell einfallenden akustischen

Welle resultieren. Das dem mechanischen Schwingungssignal entsprechende elektrische Signal des Sensorelementes wird einer verstärkenden Signalverarbeitungseinheit zugeführt, die wiederum das Aktorelement ansteuert, das über ein ebenfalls mechanisch steifes, drahtförmiges Koppel-  
 5 element den Steigbügel in mechanische Schwingungen versetzt. Bei der Sensorankopplung sind verschiedene Varianten des Koppel-  
 10 elementes an den Hammergriff, den Hammerkopf und den Körper des Hammers dargestellt. Schaefer gibt mehrere mögliche physikalische Wandlerprinzipien für beide aktive Elemente an, darunter piezokeramische Wandler, Piezofilm-Wandler und elektromagnetische Systeme. Problematisch erscheinen bei der beschriebenen Mikrofonfunktions-Realisie-  
 15 rung folgende Aspekte:

- Bei Verwendung eines piezokeramischen Wandlerelementes, das beispielhaft als stabförmiger Bimorph-Biegeschwinger ausgeführt ist, liegt die mechanische Eingangsimpedanz: deutlich über der biologischen mechanischen Quellimpedanz, die in diesem Fall hauptsächlich von dem System Trommelfell mit dem damit fest verwachsenen Hammer gebildet wird. Daraus resultiert bei gegebenem Eingangsschalldruckpegel im äußeren Gehörgang eine sehr kleine Auslenkung des Piezoelementes, was wiederum bei gegebenem mechano-elektrischen Wandlungsfaktor des Piezoelementes zu sehr kleinen elektrischen Ausgangssignalen führt. Die daher notwendige hohe elektrische Verstärkung in dem signalverarbeitenden Modul reduziert bei heute gegebener, mikroelektronischer Verstärkertechnologie die nutzbare Dynamik des Gesamtsystems aufgrund eines unzureichenden Signal-Stör-Abstandes.
- Auch wenn oben genannter Nachteil durch Verwendung eines Wandlersystems mit deutlich reduziertem mechanischem Impedanzniveau wie z.B. dünne Piezofilme (z.B. PFDV, Polyvinylidenfluorid) abgeschwächt wird, bleibt ein weiterer Nachteil dieser Variante einer Mikrofon-Funktion bestehen: aufgrund heute bekannter komplexer Resonanzeigenschaften des Mittelohrapparates einschließlich des Trommelfells (z.B. "Analysis of dynamic behavior of human middle ear using a finite-element method", Wada, H. et al., J. Acoust. Soc. Am. 92 (6), Dec. 1992, pp. 3157 - 3168) kann nicht davon ausgegangen werden, daß bei angenommenem frequenzunabhängigem Eingangsschalldruck ein ebenfalls über der Frequenz ebener Schalldruckübertragungsfaktor erzielt wird. Daraus resultieren lineare Verzerrungen der Mikrofon-Übertragungsfunktion, die für die angestrebte Hörgeräte-Funktion unerwünscht und darüber hinaus inter-individuellen Schwankungen aufgrund unterschiedlicher Anatomie unterworfen sind.
- Die nicht näher ausgeführte technische Realisie-

rung der notwendigen hermetisch dichten und biokompatiblen Kapselung des Sensorelementes erscheint insbesondere auch deshalb sehr schwierig, weil die mechanischen Schwingungen des Koppeldrahtes, der den Hammer mit dem Wandlerelement verbindet, durch die zwingend hermetisch dichte Wandung des Implantatgehäuses, das das aktive Wandlerelement enthält, geleitet werden müssen.

Engbretson et al. (US-A-4 988 333) beschreiben ein implantierbares akustisches Kuppler-System, bei dem eine mit einer beispielhaft aus Silikon bestehenden dünnen, kreisförmigen Membran abgeschlossene Kammer als schallaufnehmendes Element ausgebildet ist. Beispielhaft kann diese Membran über einen dünnen Koppeldraht, der im Mittelpunkt der Membran befestigt ist, mechanisch fest mit dem Hammer der Ossikelkette verbunden werden, wodurch die Trommelfellschwingungen als akustisches Signal innerhalb der Kammer abgebildet werden. Über einen Schalleitungsschlauch, der an diese aufnehmende Kuppelkammer angeschlossen ist, wird das Schallsignal zu einem Mikrofon geleitet, das aus Platzgründen nicht in der Paukenhöhle untergebracht ist, sondern in einem Implantat-Hauptgehäuse im Bereich des Antrums oder Mastoids. Dieses System wurde in einer miniaturisierten Ausführungsform (4,0 mm Durchmesser der Kuppelkammer) in seiner prinzipiellen Funktion in einem zweiwöchigen Tiermodell getestet (Deddens et al.: "Totally implantable hearing aids: the effects of skin thickness on microphone function", Am. J. Otolaryngol. 1990, 11, pp. 1-4), wobei die akustische Kuppelkammer mit einer 100 µm dicken Silikonscheibe als Schalleintrittsmembran abgeschlossen war.

Das grundlegende Prinzip einer Schallweiterleitung über ein Schlauchelement wird von weiteren Autoren beschrieben (Mahoney, US-A-3 346 704 und US-A-3 557 775, Nunley et al., US-A-3 882 285, Leysieffer et al., DE-A-39 40 632). Das eigentliche Mikrofonelement ist in allen beschriebenen Fällen in einem gekapselten Implantatgehäuse platziert. Die Schalleinleitung zu diesem Mikrofon erfolgt über einen mechanisch starren oder flexiblen Schlauch, dessen Eingangs-  
 40 ende beispielhaft mit einer dünnen Membran abgeschlossen ist, über die das einfallende Schallsignal aufgenommen wird. Der Ort der Schallaufnahme ist bei Mahoney der Bereich des Mastoids hinter dem Außenohr (Schlauch-  
 45 ende mit Membran unter der geschlossenen Haut über dem Mastoid), bei Nunley et al. der Bereich des äußeren Gehörgangs, wobei der Zuleitungsschlauch von der dünnen Haut der Gehörgangswand bedeckt ist, und bei Leysieffer et al. die Paukenhöhle selbst, in die das mit einer dünnen Membran abgeschlossene Ende des Schallzuleitungsschlauches ragt.

Bei diesen Lösungen erscheinen folgende Aspekte als problematisch bzw. technisch schwierig zu realisieren:

- Neben dem eigentlichen Mikrofon sind zusätzliche volumenbehaftete Elemente notwendig, die die Implantierbarkeit bei den ohnehin sehr begrenzten Platzverhältnissen im Bereich des Mittelohres, Antrums und Mastoids erschweren und die unter Langzeitaspekten zu fordernde Biostabilität fraglich erscheinen lassen.
- Technisch ist unter heute allgemein bekannten Aspekten der Wasserdampfaufnahme von Silikonen im Volumenprozentbereich die Membran, die die Schlauchelemente oder Kuppelkammern schalleingangsseitig abschließt, die für die Langzeitstabilität zu fordernde hermetische Dichtheit des Implantates nicht zu realisieren, d.h., es besteht das wesentliche Risiko, daß einerseits die elektronischen Implantatkomponenten wie insbesondere das Mikrofon selbst durch eintretende Feuchtigkeit zerstört bzw. geschädigt werden und andererseits toxische Stoffe aus dem Implantat austreten und in das Körpergewebe eindringen können.
- Funktional bestehen ähnliche Einschränkungen des individuell reproduzierbaren, frequenzunabhängigen Übertragungsmaßes dieser Mikrofonsysteme wie bei dem System nach Schäfer (s.o.), da die dünnen Membranen und schalleitenden Schläuche lineare Verzerrungen bedingen können, die im Einzelfall mit aufwendigen elektronischen Maßnahmen kompensiert werden müssen.

Eine andere Variante wird von Suzuki und Yanigahara angegeben ("Middle Ear Implants: Implantable Hearing Aids", Hoke, M. (ed), Advances in Audiology, Vol. 4, Karger Basel, 1988). Ein zylinderförmiges Edelstahlgehäuse ist auf einer Seite mit einer kreisförmigen dünnen Edelstahlmembran hermetisch dicht abgeschlossen. Innerhalb dieses Gehäuses ist ein konventionelles Miniatur-Elektret-Mikrofon untergebracht, dessen Schalleintrittsöffnung in einen ebenfalls dichten Zwischenraum ragt, der von der Gehäusemembran und einer internen Zwischenwandung gebildet wird. Die drei elektrischen Mikrofonanschlüsse werden über eine dreipolige hermetische Signaldurchführung, die neben der Mikrofonkapsel platziert ist, aus dem Edelstahlgehäuse herausgeführt und sind mit der sich anschließenden implantierbaren Mikrofonanschlußleitung verbunden. Das Gehäuseinnere ist aus Gründen des Korrosionsschutzes mit einem Edelgas (Argon) gefüllt. Das Gehäuse wird in der Mastoidhöhle so implantiert, daß die Gehäuseseite mit der kreisförmigen Membran in einer entsprechenden Bohrung in der hinteren Gehörgangswand des knöchernen Bereich des Gehörgangs platziert wird und die Gehörgangshaut durch vollständige Bedeckung in direktem mechanischen Kontakt zu der dünnen Edelstahlmembran steht. Fällt eine Schallwelle in den Gehörgang, wird die Metallmembran mit der darüberliegenden Gehörgangshaut in mechanische Schwingungen versetzt, was zu einer Druckschwankung in dem kleinvolumigen Zwischenraum im

Inneren des Gehäuses führt. Diese Druckschwankung wird von dem internen Mikrofon als entsprechendes akustisches Signal aufgenommen und in ein elektrisches Signal umgewandelt, das über die Anschlußleitung der weiterverarbeitenden Elektronik zugeführt werden kann. Hierbei ist das System so ausgelegt, daß die erste mechanische Resonanz der schwingfähigen Metallmembran spektral am oberen Ende des audiologischen Übertragungsbereiches liegt und das Schalldruckübertragungsmaß unterhalb dieser Resonanz frequenzunabhängig ist und somit keine linearen Verzerrungen auftreten. Die Gehörgangshaut stellt im wesentlichen einen additiven dynamischen Massenbelag für die schwingfähige Membran dar, so daß sich die Resonanzfrequenz bei Belag mit der Haut gegenüber dem Leerlauf ohne Hautbelag lediglich zu tieferen Frequenzen verschiebt, ohne daß sich das Übertragungsmaß und damit die Gesamtmikrofonempfindlichkeit verändert. Das Design ist so ausgelegt, daß die Resonanzfrequenz im implantierten Zustand, d.h. bei Belag mit der Gehörgangshaut, bei 3 bis 5 kHz liegt und somit zumindest grundsätzlich der audiologisch wichtige Frequenzbereich übertragen werden kann. Als Schalldruckübertragungsfaktor wird ca. 2 mV/Pa angegeben. Dieser Wert wird als ausreichend für eine elektronische Weiterverarbeitung mit akzeptablem Signal-Störabstand bezeichnet. Die Außenabmessungen dieses zylinderförmigen Mikrofonmoduls betragen 8,0 mm im Durchmesser und 4,0 mm in der Höhe.

Dieses System weist gegenüber den anderen hier angeführten Realisierungsformen eines implantierbaren Mikrofons folgende Vorteile auf:

- Aufgrund der ganzmetallischen Ausführung ist das Modul hermetisch dicht und somit geschützt gegen Körperflüssigkeiten.
- Die funktionale Gestaltung der schallaufnehmenden Membran ermöglicht einen weitgehend frequenzunabhängigen Schalldruckübertragungsfaktor bis zur ersten Resonanzfrequenz.
- Die Fehlanpassung des mechanischen Systems der Membran gegenüber der akustischen Impedanz der eintreffenden Schallwelle bleibt in einem akzeptablen Bereich, so daß ein technisch verwertbarer Übertragungsfaktor resultiert.

Dieses Modul weist jedoch aufgrund seiner äußeren Geometrie einen wesentlichen Nachteil auf: umfangreiche eigene klinische Ermittlungen haben ergeben, daß es unmöglich ist, ein zylinderförmiges Modul mit einem Gesamtdurchmesser von 8,0 mm so im knöchernen Bereich des Gehörgangs und somit in einer Bohrung in der Gehörgangswand zu platzieren, daß einerseits eine vollständige Bedeckung der kreisförmigen, planen Oberfläche mit Gehörgangshaut erfolgt und andererseits gesichert werden kann, daß dieses Modul unter Langzeitaspekten biostabil implan-

tierbar ist. Dies liegt im wesentlichen daran, daß erstens der äußere Gehörgang einen Durchmesser von unter 10 mm aufweist und so eine kreisförmige Membran mit 8,0 mm Durchmesser nicht als berührende, tangentielle Fläche bezeichnet werden kann, sondern eher eine Schnittebene darstellt, und zweitens die Entnahme eines so großen knöchernen Bereiches in der Gehörgangswand die ausreichende Versorgung der über der Metallmembran verbleibenden Gehörgangshaut als äußerst fraglich erscheinen läßt. Insgesamt erscheint es als sehr zweifelhaft, ob die beschriebenen Mikrofonsysteme überhaupt im knöchernen Bereich des Gehörgangs implantierbar sind oder ob eine Platzierung lediglich im knorpeligen oder Weichteile-Bereich des Gehörgangs möglich ist. Im letzteren Fall besteht bekannterweise das hohe Risiko des Wanderns eines Implantates, da eine adäquate mechanisch feste und langzeitstabile Verankerung des Mikrofongehäuses in knöchernen Strukturen nicht möglich ist.

Daher ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein implantierbares Mikrofon zu schaffen, welches sich sicher und langzeitstabil implantieren läßt.

Zur Lösung dieser Aufgabe beschreibt die vorliegende Erfindung eine neue Variante für ein vollständig implantierbares Mikrofon zur Verwendung in implantierbaren Hörhilfesystemen, die auf dem von Suzuki und Yanigahara beschriebenen Prinzip eines hermetisch dichten Membrangehäuses beruht, jedoch durch eine prinzipiell abgewandelte Gehäusegeometrie eine deutliche Reduzierung der Außenabmessungen unter Beibehaltung bzw. Verbesserung der funktionalen Betriebsparameter ermöglicht, wobei diese Geometrie den gegebenen, natürlichen anatomischen Bedingungen des Implantationsortes im Bereich der Mastoidhöhle und der hinteren Gehörgangswand angepaßt ist.

Insbesondere weist bei einem implantierbaren Mikrofon für eine der Anregung des Gehörs dienende implantierbare Hörhilfe mit einer Mikrofonkapsel, die in einem Gehäuse allseitig hermetisch dicht untergebracht ist, und mit einer elektrischen Durchführungsanordnung zum Durchführen mindestens eines elektrischen Anschlusses von dem Innenraum des Gehäuses zu dessen Außenseite, das Gehäuse erfindungsgemäß mindestens zwei Schenkel auf, deren Achsen in einem Winkel mit Bezug aufeinander ausgerichtet sind, wobei der eine Schenkel die Mikrofonkapsel aufnimmt und mit einer Schalleintrittsmembran versehen ist, und wobei der andere Schenkel gegenüber der Ebene der Schalleintrittsmembran zurückversetzt ist und die elektrische Durchführungsanordnung in einem Bereich aufnimmt, der außerhalb einer zur Schalleintrittsmembran senkrechten Projektion der Mikrofonkapsel liegt.

Unter audiologischen Gesichtspunkten ist als optimaler Schallaufnahmeort für ein implantierbares Mikrofon der tiefliegende Bereich des Gehörgangs anzusehen, da dort nahe dem biologisch natürlichen Ort des Trommelfells die akustischen Eigenschaften

des Außenohres und des Gehörgangs zur richtungsabhängigen Ausfilterung von Störsignalen ausgenützt werden können. Die vorliegend erläuterte Gestaltung des Mikrofongehäuses gestattet es, den mit der Schalleintrittsmembran versehenen Gehäuseteil bezüglich der geometrischen Abmessungen so weit zu minimieren, daß ein Durchmesser der schallaufnehmenden Membran kleiner 5,0 mm erreicht wird. Detaillierte eigene klinische Untersuchungen haben gezeigt, daß mit diesem Membrandurchmesser noch eine nahezu plane Einpassung an den annähernd kreisförmigen Querschnitt des Gehörgangs im tieferliegenden knöchernen Bereich möglich ist. Dieser minimierte Durchmesser wird bestimmt von den Abmessungen des kleinsten heute verfügbaren Miniatur-Elektret-Mikrofons. Eine interne Platzierung der zusätzlich notwendigen elektronischen Bauelemente sowie der elektrischen Durchführungen zum Anschluß des Moduls neben der Mikrofonkapsel wie in der Ausführungsform von Suzuki und Yanigahara ist dabei nicht möglich. Das Mikrofongehäuse muß nach Mastoidektomie vom Mastoid aus in die hintere Gehörgangswand eingebrachte Bohrung geführt und dort so platziert werden, daß ein mechanisch sicherer Kontakt der gesamten Membranoberfläche mit der über der eingebrachten Bohrung liegenden Gehörgangshaut erzielt wird. Der mit der Schalleintrittsmembran versehene, vorzugsweise zylinderförmige Bereich des Mikrofongehäuses hat daher zweckmäßig mindestens eine Länge, die dem statistischen Maximum der Dicke der hinteren Gehörgangswand entspricht. Als für das neu zu konstruierende Mikrofongehäuse wesentlich geometrie- und volumenbestimmend hat sich der Abstand des Sinus Sigmoideus, dessen Außenkonturen operativ aus klinischen Gründen nicht verändert werden dürfen, zu der hinteren Gehörgangswand herausgestellt. Dieser in manchen individuellen anatomischen Verhältnissen sehr kleine Abstand läßt konstruktiv eine gesamte axiale Anordnung von interner Mikrofonkapsel, elektronischen Bauelementen und der notwendigen hermetischen Signaldurchführung für den elektrischen Anschluß des Mikrofons nicht zu.

Daher ist erfindungsgemäß die grundlegende Geometrie des Mikrofongehäuses so gewählt, daß dieses Gehäuse prinzipiell aus zwei Schenkeln besteht, die in einem Winkel zueinander angeordnet sind, wobei der eine Schenkel, der vorzugsweise zylinderförmig ausgeführt ist, die Mikrofonkapsel sowie die schallaufnehmende, vorzugsweise kreisförmige Membran enthält und der andere Schenkel die elektrische Durchführungsanordnung und vorzugsweise elektronische Bauelemente aufnimmt, wie im folgenden näher erläutert wird.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Insbesondere ist aus den bereits geschilderten Gründen die Geometrie des Mikrofongehäuses bevorzugt so gewählt, daß bei Implantation des Mikrofons in

der Mastoidhöhle der Schenkel, der die Schalleintritts-  
membran enthält, vom Mastoid aus in eine künstliche  
Bohrung in der hinteren, knöchernen Gehörgangswand  
hineinragt und die Schalleintrittsmembran die Haut der  
Gehörgangswand berührt, und daß der Schenkel des  
Mikrofongehäuses, der die elektrische Durchführungs-  
anordnung enthält, im Bereich der Mastoidspitze pla-  
ziert ist. Eine über eine vollständige Mastoidektomie  
hinausgehende Erweiterung der Mastoidhöhle ist hier-  
für nicht erforderlich.

Da die operative Platzierung des beschriebenen  
Mikrofonmoduls so erfolgt, daß das Ende des Gehäuse-  
schenkels, der die Durchführungsanordnung enthält, in  
Richtung der Mastoidspitze weist, ist es zweckmäßig,  
wenn eine an die Durchführungsanordnung ange-  
schlossene elektrische Leitung im Anschlußbereich in  
einem rechten Winkel zu dem Gehäuseschenkel steht,  
der die elektrische Durchführungsanordnung enthält.  
Dadurch wird ein scharfer Knick bzw. ein sehr kleiner  
Biegeradius der Leitung vermieden, der andernfalls  
durch die Anatomie der eröffneten Mastoidhöhle im  
Bereich der Mastoidspitze vorgegeben wäre, und der  
Leistungsanschluß an das Mikrofonmodul ist somit  
bezüglich mechanischer Dauerbeanspruchungen entla-  
stet.

Die elektrische Durchführungsanordnung kann  
mehrpoleig ausgeführt sein. Bei zweipoliger Ausführung  
ist die Anordnung vorzugsweise so getroffen, daß sie  
unter Verwendung des elektrischen Prinzips der Phan-  
tomspeisung arbeitet, d.h. daß ein Pol gemeinsam das  
Nutzsignalpotential und das energieverorgende  
Gleichspannungspotential zur Energieversorgung des  
Mikrofons führt. Ist die elektrische Durchführungsanord-  
nung einpolig ausgeführt, so kann dieser eine Pol  
gemeinsam das Nutzsignalpotential und das energie-  
versorgende Gleichspannungspotential führen, wäh-  
rend ein zweiter Pol einer zuführenden Leitung an das  
Mikrofongehäuse angeschlossen ist, das für diesen  
Zweck elektrisch leitend ausgeführt ist und durch  
interne Verbindung mit der Mikrofonkapsel-Beschaltung  
das Massepotential führt.

Unabhängig von der Realisierung der internen  
Schallwandlung in ein elektrisches Signal sind die zum  
elektrischen Anschluß der internen Mikrofonkapsel  
nach dem Prinzip der Phantomspeisung benötigten  
elektronischen Bauelemente und Komponenten vorzugs-  
weise ebenfalls in dem Mikrofongehäuse, insbesondere  
in dem Gehäuse-Schenkel, der die elektrische Durch-  
führungsanordnung aufnimmt, untergebracht. Ferner  
können in dem Mikrofongehäuse elektronische Bauele-  
mente untergebracht sein, die eine elektrische Impe-  
danzwandlung und/oder eine elektrische  
Signalverstärkung und/oder Schutzmaßnahmen gegen  
elektrische, magnetische und/oder elektromagnetische  
Umwelteinflüsse ermöglichen. Diese letztgenannten  
Maßnahmen schließen in der Regel Hochfrequenzkon-  
densatoren und Varistoren ein, um einerseits das Mikro-  
fonmodul selbst gegen Zerstörung aufgrund

energiereicher elektromagnetischer Einwirkung zu  
schützen, und um andererseits kapazitive und induktive  
Einstreuungen in den Signalpfad zu minimieren bzw. zu  
unterdrücken, die zu Störungen in der weiteren Audiosi-  
gnalverarbeitung des an das Mikrofonmodul ange-  
schlossenen Implantatsystems führen können.

Das Mikrofongehäuse einschließlich der schallauf-  
nehmenden Membran und der elektrischen Durchfüh-  
rungseinrichtung ist vorzugsweise mit biokompatiblen  
Metallen, beispielhaft aus Reintitan oder biokompati-  
blen Titan-Legierungen, ausgeführt und allseitig herme-  
tisch gasdicht verschlossen.

Die in dem Mikrofongehäuse untergebrachte Mikro-  
fonkapsel ist insbesondere zum Arbeiten nach dem  
elektrodynamischen, elektromagnetischen, dielektri-  
schen und vorzugsweise nach dem Elektret-Prinzip  
ausgelegt. Insbesondere kann es sich um eine Elektret-  
Miniaturausführung mit integriertem Feldeffekt-Transi-  
stor zur elektrischen Impedanzwandlung handeln. Das  
Mikrofon kann auch entsprechend dem Kondensator-  
Mikrofon-Prinzip in NF- bzw. HF-Schaltung ausgeführt  
sein. Insbesondere kann die Mikrofonfunktion durch ein  
Halbleiter-Mikrofon in Siliziumtechnologie realisiert  
sein, das mit Methodiken der Mikrosystemtechnik auf-  
gebaut ist.

Um die das Mikrofonmodul mit dem Hörhilfe-  
Implantatsystem verbindende elektrische Anschlußlei-  
tung weitgehend unempfindlich gegenüber elektroma-  
agnetischen Umwelteinflüssen (EMV) zu machen, ist  
diese Anschlußleitung vorzugsweise als Twisted-Pair-  
oder Koaxial-Leitung ausgeführt.

Das hier beschriebene implantierbare Mikrofon  
kann Bestandteil von teil- oder vollimplantierbaren Hör-  
hilfen wie z.B. Cochlea Implantaten mit elektrischer Rei-  
zung der Hörbahn, Hörgeräten mit mechanischer  
Stimulation des Mittelohres oder des Innenohres sowie  
aktiven Maskiersystemen zur Tinnitus-Behandlung  
sein, die mit adäquaten elektronischen Signalverarbei-  
tungs- und Energieversorgungssystemen und Stimulati-  
onsmitteln die Rehabilitation eines teilweisen bzw.  
vollständigen Ausfalls oder die apparative Behandlung  
der Beeinträchtigung eines oder beider Hörorgane  
ermöglichen.

Unter dem Oberbegriff Hörhilfen sind hier generell  
teil- oder vollimplantierbare Systeme zu verstehen, die  
mit Hilfe des beschriebenen Mikrofonmoduls, adäqua-  
ten elektronischen Signalverarbeitungs- und Energie-  
versorgungssystemen und Stimulationsmitteln die  
Rehabilitation eines teilweisen bzw. vollständigen Aus-  
falls oder die apparative Behandlung der Beeinträchti-  
gung eines oder beider Hörorgane ermöglichen.  
Hierunter sind insbesondere Cochlea Implantate mit  
elektrischer Reizung der Hörbahn, implantierbare Hör-  
geräte mit mechanischer Stimulation des Mittelohres  
oder des Innenohres sowie aktive, implantierbare Mas-  
kiersysteme zur Tinnitus-Behandlung zu verstehen.

Bevorzugte Ausführungsformen des implantierba-  
ren Mikrofonmoduls werden nachstehend an Hand der



Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1** einen Querschnitt durch das menschliche Gehör mit implantiertem Mikrofonmodul;  
**Fig. 2** eine Aufsicht in die Mastoidhöhle nach erfolgter Mastoidektomie mit implantiertem Mikrofonmodul;  
**Fig. 3** eine Anwendung des implantierbaren Mikrofonmoduls bei einem vollständig implantierbaren Hörgerät mit elektromechanischer Stimulation der Ossikelkette; und  
**Fig. 4** eine Anwendung des implantierbaren Mikrofonmoduls bei einem vollständig implantierbaren Cochlea Implantat mit direkter elektrischer Stimulation der Cochlea.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch das menschliche Gehör mit dem Außenohr 1, dem Gehörgang 2, der knöchernen Gehörgangswand 3, der Haut des Gehörgangs 4, dem Trommelfell 6, der Gehörknöchelchenkette bestehend aus Hammer 12, Amboß 13 und Steigbügel 14, dem Innenohr (Cochlea) 7 und dem Hörnerv 8. Ein im Bereich der knöchernen hinteren Gehörgangswand vom Mastoid 9 aus eingebrachtes, ein Mikrofongehäuse 11 aufweisendes Mikrofonmodul ist etwa maßstabsgetreu im implantierten Zustand eingezeichnet, wobei die Gehörgangswandhaut 4 eine Membran 5 berührt, welche einen Teil des Mikrofongehäuses 11 bildet. Ein elektrische Durchführungsanordnung 17 mit angeschlossener Leitung 10 beinhaltender erster Schenkel 31 des Mikrofongehäuses 11, dessen Achse in Fig. 2 schematisch bei 35 angedeutet ist, weist im implantierten Zustand etwa in Richtung der Mastoidspitze. Die elektrische Durchführungsanordnung 17 befindet sich in einem Bereich des Schenkels 31, der außerhalb einer zu der Schalleintrittsmembran 5 senkrechten Projektion der Mikrofonkapsel 15 liegt.

In Fig. 2 ist das Mikrofongehäuse 11 schematisch im implantierten Zustand im Querschnitt als Aufsicht auf die eröffnete Mastoidhöhle 18 nach Mastoidektomie dargestellt. Das Mikrofongehäuse 11 ist mit einem Mikrofonkapsel 15 aufnehmenden zweiten Gehäuseschenkel 32 so in eine entsprechende artifizielle Bohrung 33 in der knöchernen Gehörgangswand 3 eingeführt, daß die Haut 4 des Gehörgangs die kreisförmige Membran 5 mechanisch sicher und auf der ganzen Kreisfläche der Membran berührt. Der Gehäuseschenkel 32 hat eine Achse 36 (Fig. 2), die in der veranschaulichten Ausführungsform im wesentlichen in einem rechten Winkel zu der Achse 35 des Gehäuseschenkels 31 steht. Der Bereich der Gehörgangswandhaut, der die Membran berührt, stellt zusammen mit der Membran ein mechanisch schwingfähiges Gebilde dar, das durch eine in den äußeren Gehörgang 2 mit dem Trommelfell 6 einfallende Schallwelle in mechanische Schwingungen versetzt wird, die sich als akustische Druckschwankungen im hermetisch abgeschlossenen inneren Volumen des Mikrofongehäuses

11 abbilden. Diese Druckschwankungen werden durch die interne Mikrofonkapsel 15 in ein elektrisches Signal umgewandelt, das einer Signalverarbeitungseinheit 16 über interne elektrische Leitungen 34 zugeführt wird.

Die Signalverarbeitungseinheit 16 kann Komponenten zur elektrischen Phantomspeisung des Systems, aktiv verstärkende Elemente, impedanzwandelnde Bauelemente und Komponenten zur Unterdrückung bzw. Dämpfung von elektrischen, magnetischen und/oder elektro-magnetischen Umwelteinflüssen beinhalten. Die Signalverarbeitungseinheit 16 ist ausgangseitig elektrisch an die Durchführungsanordnung 17 angeschlossen, die hermetisch dicht in das Mikrofongehäuse 11 eingebracht ist. Die Signalverarbeitungseinheit 16 ist zusammen mit der Durchführungsanordnung 17 in dem Schenkel 31 des Mikrofongehäuses 11 untergebracht, der unter einem Winkel, hier vorzugsweise als rechter Winkel dargestellt, zu dem Schenkel 32 des Mikrofongehäuses steht, der mit der schallaufnehmenden Membran 5 versehen ist und die interne Mikrofonkapsel 15 enthält. Die elektrische Leitung 10 ist vorzugsweise im rechten Winkel so an die elektrische Durchführungsanordnung 17 angeschlossen, daß die Leitung 10 knickfrei und unter Vermeidung sehr kleiner Biegeradien aus der Mastoidspitze 19 herausgeführt werden kann. Die elektrische Durchführungsanordnung 17 und die Leitung 10 sind hier für den vorzugsweisen Fall einer energetischen Versorgung des Mikrofonmoduls über eine Phantomspeisung, bei der die Nutzsignal-Wechselspannung und die versorgende Gleichspannung gemeinsam über einen Pol und das Massesignal über einen zweiten Pol geführt werden, zweipolig ausgeführt. In diesem Fall ist die Leitungsanordnung der elektrischen Implantatleitung 10 vorzugsweise nach dem Twisted-Pair-Prinzip ausgeführt, um elektromagnetische Umwelteinflüsse auf die Implantatleitung 10 zu minimieren.

Aus Fig. 2 sind die beengten Raumverhältnisse in der eröffneten Mastoidhöhle ersichtlich, die wesentlich durch den Abstand zwischen hinterer Gehörgangswand 3 und dem knöchernen Wall des Sinus Sigmoides 20, der eine wichtige venöse Versorgung enthält und daher chirurgisch nicht abgetragen werden kann, gegeben sind. Erst die Unterbringung der beschriebenen Komponenten in einem zweiseitenkeligen Gehäuse erlaubt die Wahl des dargestellten Implantationsortes. Eine axiale Anordnung aller Mikrofon-Modul-Komponenten einschließlich des elektrischen Leitungsanschlusses ist nicht möglich. Weiterhin ist aus Fig. 2 ersichtlich, daß der die Durchführungsanordnung 17 enthaltende Schenkel 31 des Mikrofongehäuses 11 gegenüber der Ebene der kreisförmigen Gehäusemembran 5 mindestens um die Dicke der knöchernen Gehörgangswand 3 zurückgesetzt sein muß, um ein so tiefes Einführen des Gehäuses 11 in die artifizielle Bohrung 33 in der Gehörgangswand zu gewährleisten, daß die Membran 5 des Mikrofongehäuses die Haut 4 der Gehörgangswand

sicher in allen Membranbereichen berührt.

Aus Fig. 1 und Fig. 2 ist ersichtlich, daß das Mikrofongehäuse 11 dann mit dem Schenkel 31, der die Durchführungsanordnung 17 mit angeschlossener Leitung 10 enthält, sinnvollerweise in Richtung Mastoidspitze 19 orientiert platziert werden sollte, wenn im Falle eines vollimplantierbaren elektromechanischen Hörgeräts Komponenten des elektromechanischen Wandlers in der Mastoidhöhle, dem Antrum oder direkt im Mittelohrbereich implantiert werden.

Eine andere Orientierung des Mikrofongehäuses, d.h. ein Freiheitsgrad der operativen Platzierung des Mikrofonmoduls, kann dann gegeben sein, wenn im Falle einer vollständig implantierbaren Hörhilfe mit direkter elektrischer Stimulation der Cochlea nur das entsprechende Reizelektroden-Array vom Mastoid aus in Richtung der Cochlea geführt werden muß und somit die oben beschriebenen stark eingeschränkten Platz- und Volumenverhältnisse nicht gegeben sind. Solche Ausführungskombinationen mit dem beschriebenen Mikrofonmodul sind in Fig. 3 und Fig. 4 schematisch dargestellt.

In Fig. 3 ist ein vollständig implantierbares Hörgerät mit elektromechanischer Stimulation der Ossikelkette unter Verwendung eines in dem Gehäuse 11 untergebrachten Mikrofonmoduls dargestellt, wobei eine über die Leitung 10 mit dem Mikrofonmodul in Verbindung stehende signalverarbeitende Einheit 21, die auch die elektrische Energieversorgung sowie Komponenten zur drahtlosen Kommunikation mit der Außenwelt enthalten kann, in einem ausgefrästen Knochenbett 22 im Mastoidbereich untergebracht ist. Eine das elektrische Ausgangssignal führende Implantatleitung 26 führt zu einem elektromechanischen Wandler 25, der beispielhaft in der Mastoidhöhle oder im Antrum platziert ist. Die mechanischen Schwingungen des Wandlers 25 werden über ein adäquates mechanisches Koppellement 27 der Ossikelkette zugeführt, im dargestellten Beispiel an den Amboß 13.

In Fig. 4 ist eine vollständig implantiert ausgeführte Hörhilfe mit direkter elektrischer Stimulation des Gehörs über ein in die Cochlea 7 eingeführtes Reizelektrodenarray 24 unter Verwendung des in dem Gehäuse 11 befindlichen Mikrofonmoduls dargestellt. Auch hier ist die Signalverarbeitungseinheit 21 mit allen für einen transkutanen Implantatbetrieb notwendigen Komponenten wie in Fig. 3 in dem artifiziellen Knochenbett 22 im Mastoid platziert, wobei eine elektrische Zuleitung 23 zu dem Reizelektrodenarray 24 vom Mastoid durch den Mittelohrbereich zur Cochlea 7 führt.

#### Patentsprüche

1. Implantierbares Mikrofon für eine der Anregung des Gehörs dienende implantierbare Hörhilfe mit einer Mikrofonkapsel (15), die in einem Gehäuse (11) allseitig hermetisch dicht untergebracht ist, und mit einer elektrischen Durchführungsanordnung (17)

zum Durchführen mindestens eines elektrischen Anschlusses von dem Innenraum des Gehäuses zu dessen Außenseite, wobei das Gehäuse mindestens zwei Schenkel (31, 32) aufweist, deren Achsen (35, 36) in einem Winkel mit Bezug aufeinander ausgerichtet sind, wobei der eine Schenkel (32) die Mikrofonkapsel aufnimmt und mit einer Schalleintrittsmembran (5) versehen ist, und wobei der andere Schenkel (31) gegenüber der Ebene der Schalleintrittsmembran zurückversetzt ist und die elektrische Durchführungsanordnung (17) in einem Bereich aufnimmt, der außerhalb einer zur Schalleintrittsmembran senkrechten Projektion der Mikrofonkapsel liegt.

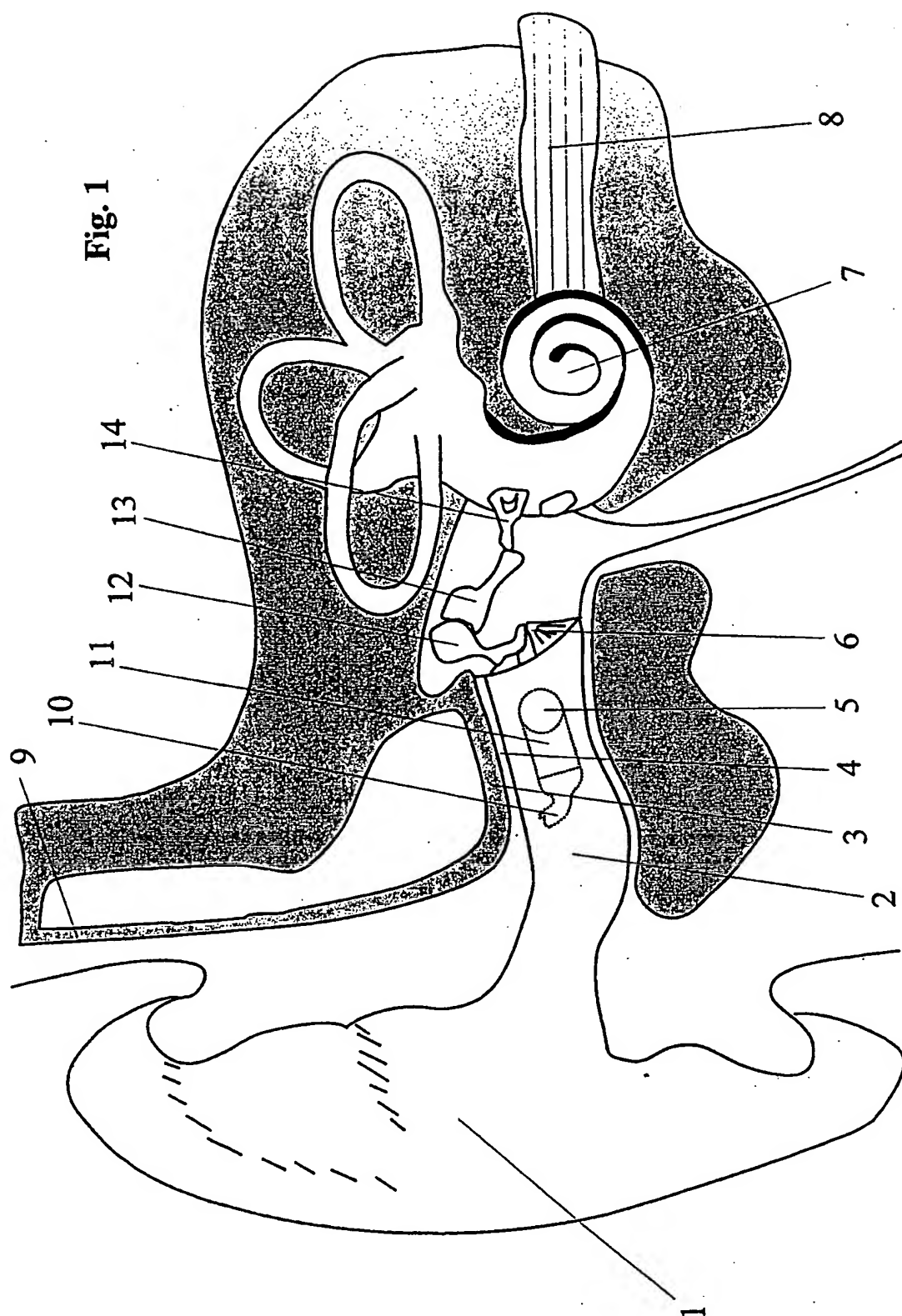
2. Implantierbares Mikrofon nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Winkel der Achsen (35, 36) der beiden Schenkel (31, 32) des Mikrofongehäuses (11) zueinander näherungsweise ein rechter Winkel ist.
3. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Geometrie des Mikrofongehäuses (11) so gewählt ist, daß bei Implantation des Mikrofons in der Mastoidhöhle (18) der Schenkel (32), der die Schalleintrittsmembran (5) enthält, vom Mastoid (9) aus in eine artifizielle Bohrung (33) in der hinteren, knöchernen Gehörgangswand (3) hineinragt und die Schalleintrittsmembran die Haut (4) der Gehörgangswand berührt, und daß der Schenkel (31) des Mikrofongehäuses, der die elektrische Durchführungsanordnung (17) enthält, im Bereich der Mastoidspitze (19) platziert ist.
4. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ferner an die Durchführungsanordnung (17) eine elektrische Leitung (10) angeschlossen ist, die im Anschlußbereich in einem rechten Winkel zu dem Gehäuseschenkel (31) steht, der die elektrische Durchführungsanordnung enthält.
5. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Durchführungsanordnung (17) mehrpolig ausgeführt ist.
6. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Durchführungsanordnung (17) zweipolig unter Verwendung des elektrischen Prinzips der Phantomspeisung ausgeführt ist.
7. Implantierbares Mikrofon nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die elektrische Durchführungsanordnung (17) einpolig ausgeführt ist und dieser eine Pol gemeinsam das



Nutzsignalpotential und das energieverorgende Gleichspannungspotential führt, daß das Mikrofongehäuse (11) elektrisch leitend ausgeführt ist, und daß ein zweiter Pol einer zuführenden Leitung (10) angeschlossen ist und das Massepotential über das Mikrofongehäuse geführt ist.

8. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Mikrofongehäuse (11) ferner elektronische Bauelemente (16) untergebracht sind, die einen elektrischen Anschluß der internen Mikrofonkapsel (15) nach dem Prinzip der Phantomspeisung ermöglichen. 10
9. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Mikrofongehäuse (11) ferner elektronische Bauelemente (16) untergebracht sind, die eine Minimierung elektrischer, magnetischer und/oder elektromagnetischer Umwelteinflüsse gewährleisten. 15
10. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Mikrofongehäuse (11) ferner elektronische Bauelemente (16) untergebracht sind, die eine elektrische Verstärkung und/oder eine Impedanzwandlung des Mikrofonsignals realisieren. 20
11. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrofongehäuse (11) einschließlich der Schalleintrittsmembran (5) in Reintitan oder biokompatiblen Titan-Legierungen ausgeführt ist. 25
12. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrofonkapsel (15) zum Arbeiten nach dem elektrodynamischen, elektromagnetischen, dielektrischen, piezoelektrischen oder vorzugsweise nach dem Elektret-Prinzip ausgelegt ist. 30
13. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Mikrofongehäuse (11) ein internes Halbleiter-Mikrofon (15) enthält, das nach Methoden der Mikrosystemtechnik gefertigt ist. 35
14. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die externe, elektrische Anschlußleitung (10) als Twisted-Pair- oder Koaxial-Leitung ausgeführt ist. 40
15. Implantierbares Mikrofon nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es Bestandteil von teil- oder vollimplantierbaren Hörhilfen wie z.B. Cochlea Implantaten mit elektri-

scher Reizung der Hörbahn, Hörgeräten mit mechanischer Stimulation des Mittelohres oder des Innenohres sowie aktiven Maskiersystemen zur Tinnitus-Behandlung ist, die mit adäquaten elektronischen Signalverarbeitungs- und Energieversorgungssystemen (21) und Stimulationsmitteln (25, 27) die Rehabilitation eines teilweisen bzw. vollständigen Ausfalls oder die apparative Behandlung der Beeinträchtigung eines oder beider Hörorgane ermöglichen.



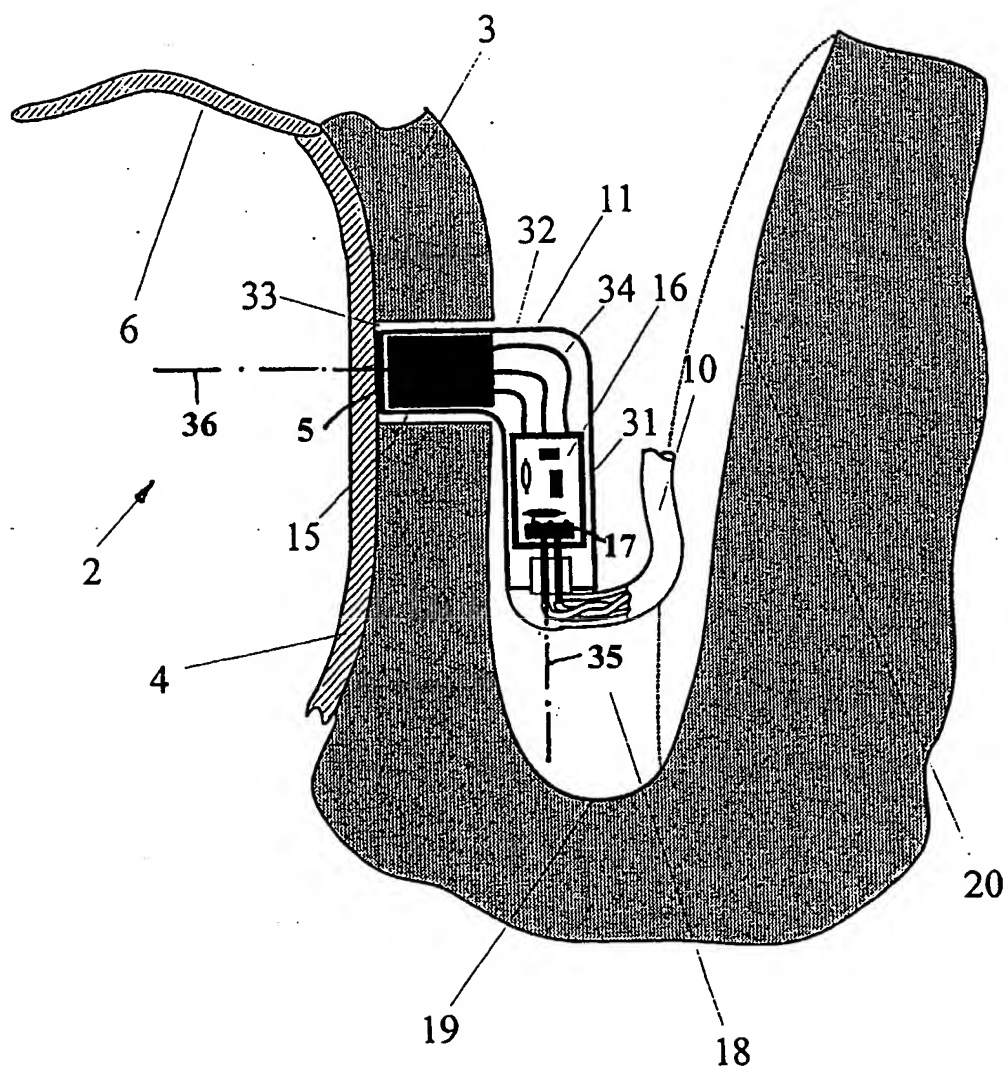


Fig. 2

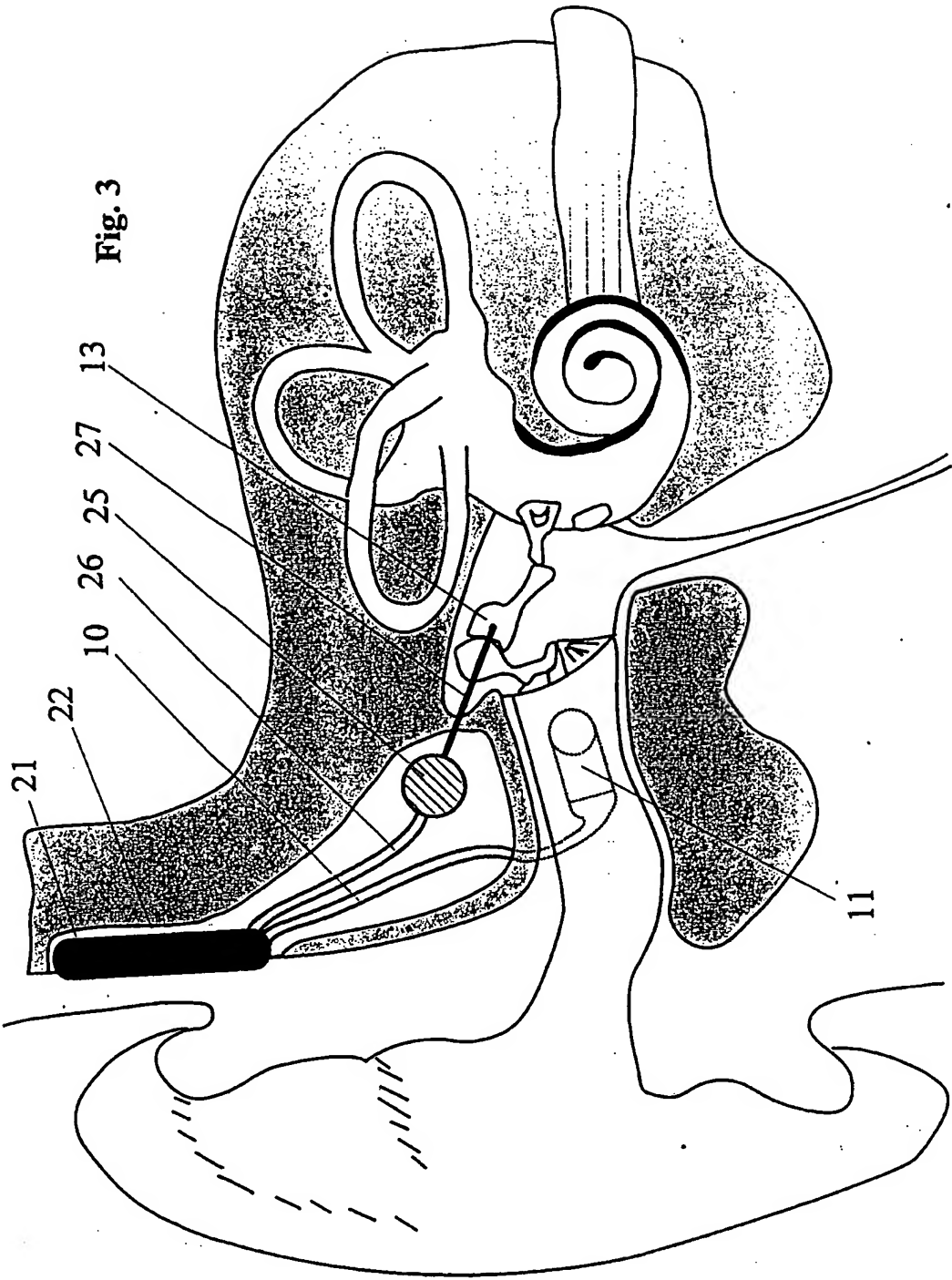


Fig. 3

